宇宙航空の最新情報マガジン
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌［ジャクサス］
JAXA's
No.063
January 2016
2016
新春理事長鼎談
世界の宇宙産業は、
今変化の真っ只中にいる!
奥村直樹
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
理事長
下村節宏
一般社団法人 日本経済団体連合会
宇宙開発利用推進委員会委員長
三菱電機株式会社 相談役
中村友哉
株式会社アクセルスペース
代表取締役
特集
JAXA
宇宙天文観測の
世界
新世代X線天文衛星ASTRO-H
世界をリードする日本のX線観測
もう一つの柱「磁気圏」と
「プラズマ」の探査

宇宙航空の最新情報マガジン

No.063
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS

表紙画像：公開されたASTRO-Hの衛星本体

JAXA'sでは、JAXAが取り組む3つの分野での活動をご紹介していきます。
1 安心・安全な社会を目指す「安全保障・防災」
2 宇宙技術を通して日本の産業に貢献する「産業振興」
3 宇宙の謎や人類の活動領域の拡大に挑む「フロンティアへの挑戦」です。

INTRODUCTION

昨年JAXAは国立研究開発法人となり、新たな宇宙基本計画のもとで、H-IIA高度化ロケットにより初めて海外の商業衛星を打上げ、宇宙ビジネスにはずみをつけました。さらに「はやぶさ2」の地球スイングバイや「あかつき」の金星軌道再投入もそれぞれ成功し、各探査での新しい発見が楽しみです。また、油井宇宙飛行士はISSでの142日間の滞在中、超小型衛星の放出や新たな実験装置の整備を行った他、チームジャパンのチームワークで「こうのとり」もその大役を果たし、日本の技術力の高さでISS運用に貢献しました。航空分野においても、長年取り組んできた超音速旅客機の開発につながる実証試験のデータ取得に成功し、世界の航空機への貢献が期待できます。今年のJAXA'sは、変化の時にある宇宙産業界の話題でスタートです。

2016
新春理事長鼎談

世界の宇宙産業は、今変化の真っ只中にいる!

奥村直樹
OKUMURA Naoki
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
理事長

×

下村節宏
SHIMOMURA Setsuhiro
一般社団法人 日本経済団体連合会
宇宙開発利用推進委員会委員長
三菱電機株式会社 相談役

×

中村友哉
NAKAMURA Yuya
株式会社アクセルスペース
代表取締役

国立研究開発法人として今年２年目を迎えるJAXAは、日本の航空宇宙技術開発の最先端を走るだけでなく、具体的な成果を社会に還元していくことをより一層期待されています。また、民間の宇宙産業を取り巻く状況も大きく変わりつつある今、日本の宇宙業界に何が必要なのか、JAXAの果たすべきは何か、どういう方向に進むべきかを、奥村理事長が経団連宇宙開発利用推進委員会委員長の下村節宏氏と、超小型衛星ビジネスを展開するベンチャー企業アクセルスペースの代表取締役中村友哉氏と語り合います。

取材：寺門和夫（科学ジャーナリスト）

フロンティアへの挑戦
産業振興
安全保障 防災

平成27年11月24日に種子島宇宙センターから打ち上げられた、H-IIAロケット29号機。
第2段には基幹ロケット高度化開発の成果が適用され、長時間飛行や第2段エンジン再々着火により、衛星をこれまでよりも静止軌道に近い軌道に投入することに成功した。

宇宙は誰もが使える

「変化の時期というのは面白い仕事ができると思っているのです。」

奥村 直樹
OKUMURA Naoki
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
理事長

宇宙は誰もが使える「インフラ」になろうとしている

奥村　宇宙をめぐる環境は最近変わってきていると考えています。これまでの官需だけの世界から、商業化という動きがでてきています。また、2015年1月には新しい宇宙基本計画が決定されました。4月にはJAXAも国立研究開発法人となり、日本全体の利益の最大化を目指すことになりました。そこで本日は、今後の宇宙開発やJAXAへの要望などについてお話を伺えればと思っています。まず、日本の宇宙関連企業をまとめておられる立場から、下村さんに日本の宇宙産業の現状についてお話しいただければと思います。

下村　日本の宇宙開発利用の歴史を振り返ってみますと、長い間、国や政府系機関が主導して技術開発と利用が進められてきました。しかし今では、通信放送分野では多くのサービスが民間事業者によって提供される状況になっています。日本だけでなく、アメリカやヨーロッパもそうでしたが、最初に国がしっかりと基幹技術を開発し、それがビジネスに生かされていく構図になっているわけです。宇宙技術は国家間の競争という側面が強く、基幹技術は国の機関がしっかり開発を行い、民間企業はその成果を最大限に活用し、官民あげて宇宙技術の産業化に取り組んでいく。日本もそういう時期にきていると感じています。

奥村　中村さんはベンチャー企業という立場におられるわけですが、いかがですか。

中村　私たちの会社の創業は2008年です。当時は宇宙というものが民間にあまり浸透していませんでしたが、ここ3～4年は宇宙に対する周囲の見方が大きく変わってきたと実感しています。最近は一般の企業から、宇宙を使えないかという問い合わせが増えてきています。私たちのメインの仕事である超小型衛星の分野もこれから大きく広がっていくのは間違いないと思います。現在はインターネットの黎明期に似ていて、宇宙が誰でも当たり前のように使えるインフラになっていく、そのスタート段階にあります。こうした動きに日本が乗り遅れることがないようにする非常に重要な時期だと思っています。

奥村　官需を主体にしてきた大型の衛星と、民間による小型あるいは超小型衛星の関係ですが、相互補完してサービス全体が広がるのがいいのではないかと思っています。これまでの区分や役割も少しずつ崩れてきている印象を持っているのですが。

中村　その通りだと思います。民間が入ってくるようになって、衛星の大小どころか、宇宙業界という垣根すら崩れてきています。つまり宇宙だけでサービスをするという世界ではなくなっていて、宇宙の特質を生かして、地上にあるサービスにどういう価値を加えていくのか、そういう考えが重要になってきています。

下村　大型衛星と小型衛星では役割が異なっていて、競合というよりお互いに補完

小型衛星放出機構（J-SSOD）から放出されるブラジリア大学が開発した超小型衛星「SERPENS」放出の様子。

し合う関係だと私も思います。国家プロジェクトを通じて開発された技術が民間に広く使われる中でお互いに価値を認め合い、共存する世界であると思いますね。

奥村　私は筑波にある産業技術総合研究所や物質・材料研究機構にうかがい、理事長さんにお会いしました。ぜひ皆さんの知恵を宇宙で生かしたいとお話したところ、大いに賛成していただきました。こうした研究機関から新しい要素技術を取りこもうとしているのですが、変化の時期というのは私自身も面白い仕事ができると思っているのです。

下村　私もそう思います。

世界に飛躍する、日本の高い技術力と優れた素材・材料の力

奥村　日本の宇宙技術の強みに関して、下村さんはどうお考えですか。

下村　例えば地球観測の分野などは、すでに世界で十分太刀打ちできると思います。通信衛星の分野では日本はあまり強くなかったのですが、三菱電機がシンガポール、トルコに続き、最近ではカタールの通信衛星を受注しました。このカタールの衛星を受注して以降、世界の通信事業者からの引き合いが増えています。

奥村　それは素晴らしい。

下村　お客様から期待されるような存在になってきたと感じていますが、これから解決しなければいけない技術課題もあります。そういう技術を国産でしっかり作り上げて、世界に打って出たいと考えています。それを可能にしていく上で国のプロジェクトが重要だと思います。

中村　宇宙開発に限らず、日本のモノづくりの基盤はすごいと思います。日本の中小企業は加工精度に厳しい要求を出しても比較的簡単に応えてくれます。低コストで性能のいい衛星をつくることができることが、日本の強みだと思います。それから、やはり素材とか、材料の分野ですね。日本は宇宙ビジネスをするには非常にいい環境だと思っています。

下村　私たちも大いに恩恵を受けています。例えば、衛星搭載用の非常に軽いアンテナを作れるのは、炭素繊維強化プラスチックのような素材が日本にあるからです。

JAXAに求められる事、JAXAがやらねばならない事

奥村　JAXA のロゴの下には Explore to Realize と入っています。宇宙を子供に夢を与えるだけでなく、現実のものにしようという思いが私にはあります。JAXA をより良い姿に変えていきたいと思っていますので、JAXA に対する忌憚のないご意見をたまわりたいと思います。

下村　JAXA に期待しているのは、やはり基幹技術をしっかり開発していただきたいということです。国際競争で勝てる技術ですね。その成果は必ず民間が世界でビジネスを展

開して、日本の宇宙産業の発展に資する形でお返しできると思います。ただし、何が競争に勝てる技術かというと、これはそう簡単な話ではなく、ユーザがどういうことを期待しているのか、世界で何が起こっているのかを踏まえて、JAXA と民間の間でじっくり議論をすることが重要だと思います。

奥村　競争力という点でいいますと、政府の高額な衛星を打ち上げるプロジェクトでは、革新的なスペックをいきなり採用するわけにはいきません。ですから、その前の段階の「仕込みの研究」がいると思っています。JAXA ではこれまでも先導研究というのを進めていますが、これをもっと強化する必要があるのではないか。日本の宇宙産業もここまで実績が上がってきているわけですから、JAXA の新しい役割というのは、宇宙以外の分野も含め世界を先導する技術によって日本の宇宙分野の強さを生み出すことではないかと思っています。そのためにも、民間とは仲良しクラブではなく、他分野技術の人も含めて侃々諤々（かんかんがくがく）の議論ができるような関係をつくりたいと思っています。

下村　ぜひやりましょう。そのような取組みは継続的に行うことが重要だと思います。加えて JAXA にお願いしたいのは、例えばあるプロジェクトを実行するに当たって、どこまで自力で開発するか、どれを外部から調達するかという判断です。JAXA にとって関心の高いものを自力で開発するだけではなく、多少手間暇や費用がかかっても国の安全保障などの観点から重要なものは国産化するという判断が必要だと思います。

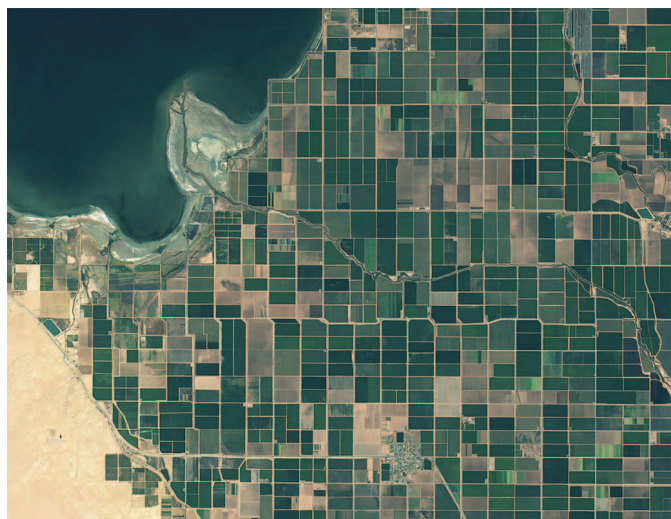
中村　私は JAXA にもっとリスクを取る枠があっていいのではないかと思っています。100%成功しないといけないと考えてしまうと、チャレンジングなことができなくなり、時代の変化についていけなくなります。失敗してもいいから、新しいアイデアを試すことによって、本当の技術が残っていく。今、民間ではいろいろな動きが始まっていますが、宇宙分野はコストもかかるしリスクも大きいので、失敗した場合を考えると民間だけではなかなか踏み切れないことも多い。ですから、JAXA にチャレンジ枠のようなものがあって、そこで技術やアイデアを試す場を提供してくれれば、新しいアイデアを実現に移してみようとする企業がどんどん出てくることにつながるのではないかと思っています。

奥村　JAXA だけですべてができるわけではありませんから、同じ志の人が集まって何かをするというのが大事ですね。

中村　おっしゃる通りです。私たちがビジネスをしている世界を考えますと、打ち上げられる衛星の数はもうすさまじい量になっています。そうなってくると、何で差をつけられるかといえば、やはりビジネスモデルと技術力です。ビジネスモデルは我々民間がリスクを取ります。しかし、新しい技術に関して民間がリスクを取るのは大変なのです。そこを JAXA に研究開発していただいて、その成果を我々が衛星に載せてサービスを行えば、お互いウィンウィンの関係になるのではないでしょうか。

官民が協力することで宇宙業界全体の人材育成を

下村　先ほども話が出ましたが、日本には優れた機器が多くあります。これを世界に

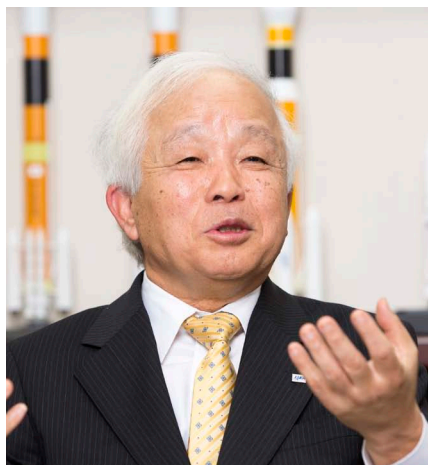
アクセルスペースが開発に参加した超小型衛星「ほどよし1号機」が捉えたアフリカ北部に広がるサハラ砂漠に存在する、瞳のような環状構造体。

同じく「ほどよし1号機」が撮影した、西半球でもっとも低い標高の場所カリパトリア。砂と畑のコントラストが素晴らしい。

写真：Axelspace Corporation

【株式会社アクセルスペース】
2008年8月創立。
東京都千代田区神田小川町のビルの中に事務所と衛星の組立て場を持つ。中村友哉代表取締役を筆頭に「超小型衛星等を活用したソリューションの利用」「超小型衛星及び関連コンポーネントの設計及び製造」「超小型衛星の打ち上げアレンジメント及び運用支援・受託」を事業展開する、まさに今熱いベンチャー企業。

H-IIBロケットで打ち上げられ、ISSに物資を届けた「こうのとり」5号機。
写真：JAXA/NASA

陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）の衛星本体。

輸出していけるレベルにしっかり育成していくことが重要です。JAXAには、そういった開発においても、海外ビジネスを視野に入れながら民間と連携して進めていただくことを期待しております。あとは人材育成です。JAXAには宇宙開発技術者をしっかり育てていただきたいですし、民間との人事交流も重要と思います。

奥村　そうですね。例えばJAXAの職員も民間企業に行って、宇宙だけでなく、違う部署でも勉強してくる。また、民間企業からもJAXAにきてもらい、勉強していただく。そういうふうにして宇宙業界全体の人材を育てていくといいと思います。

下村　そういう交流はぜひ進めた方がいいと思います。

中村　国際競争力という言葉が出てきましたが、やはり日本が打ち上げ能力を持っているというのは非常に重要なことだと思います。JAXAでは革新的衛星技術実証プログラムも始まりましたが、この理念には非常に賛同しています。宇宙での実証に使える機会をどんどん提供することが、ひいては日本の国際競争力につながっていくと私は思います。海外の人たちも宇宙産業を学ぼうと思ったら日本に来るのが一番よいとなれば、ポジティブなサイクルが回っていくのではないでしょうか。

奥村　おっしゃる通りです。自分で打ち上げ能力を持っている強みをもっとうまく活用すべきですね。

世界市場に地盤を築くには今が勝負の時!

奥村　最後に、少し将来の話をお話いただければと思います。これからの投資を語っていただければと思うのですが。

下村　世界の市場でしっかりとビジネスを獲得していく。それが産業界としての大きな夢というか、取り組んでいきたいことです。日本は相当なポテンシャルを持っていると、私は思います。それを現実の力にすれば、日本の宇宙産業というのは相当大きく育てられるし、世界で頑張っていけると思います。

奥村　経団連では何か数値目標的なものをもっておられますか。

下村　日本の宇宙産業の今の年間事業規模は3,000億円程度ですが、これを宇宙基本計画で示されたように、今後10年間の累計で5兆円ぐらいの事業規模にすることが当面の目標と考えています。

中村　私たちは2017年に超小型衛星を3機打ち上げる計画でいますが、これは世界に追いついていくためにはギリギリのスピードです。2022年ぐらいまでに50機というのを私たちの目標にしております。宇宙というのはインフラなのですね。これを誰が使えるようにするのか、ちょうど今が勝負時だと思っています。10年先にまわりがどうなっているか分からない。私たちの目標をなるべく前倒しできるように、海外展開も含めて頑張っていきたいと思います。

奥村　私もスピード感は非常に大事だと思っています。それがないとビジネスの世界に入っていけないですね。本日は貴重なご意見をいただき有難うございました。

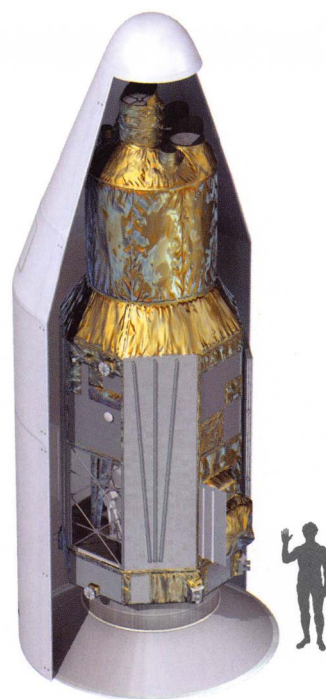
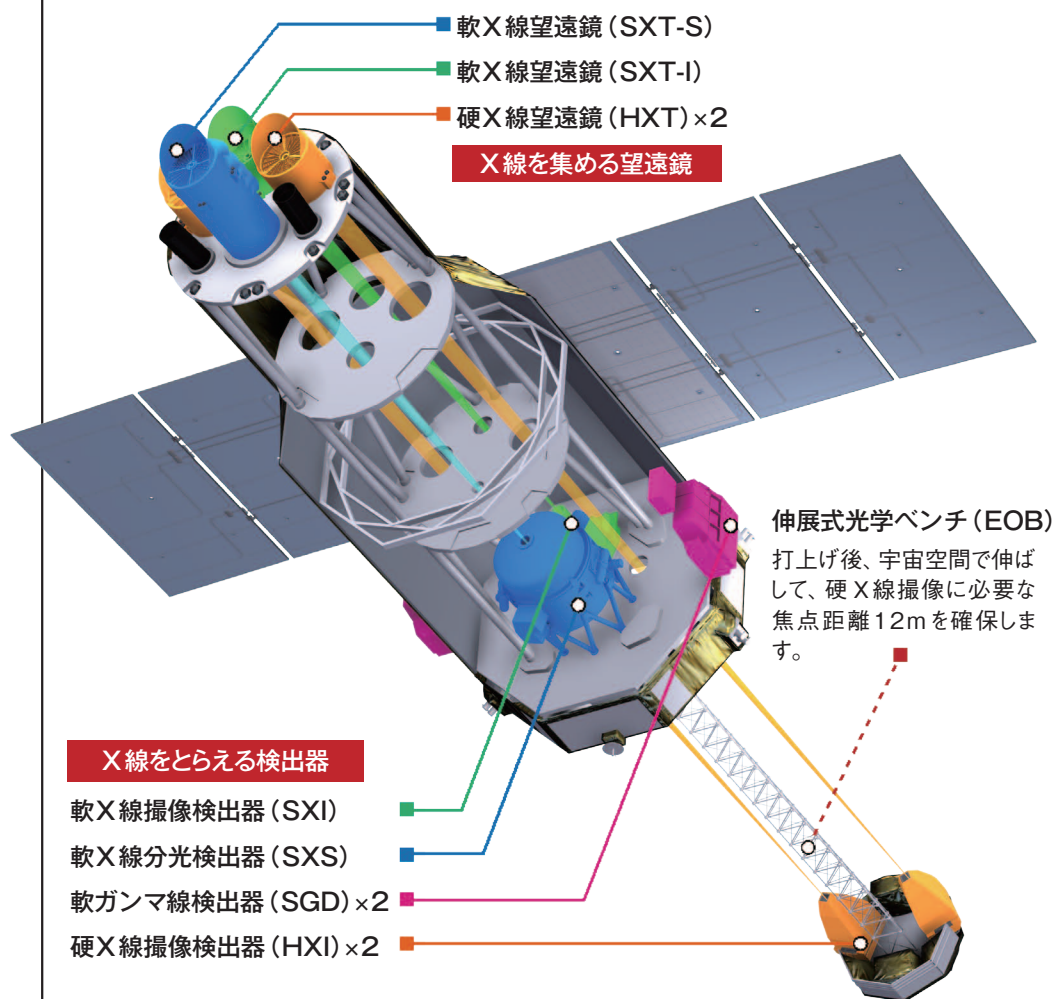
とてつもない観測能力をもって宇宙へ向かうX線望遠鏡

「熱い宇宙の中を観る」― Insight into the Hot Universe.

フロンティアへの挑戦　産業振興　安全保障防災

新世代のX線天文衛星「ASTRO-H」の打ち上げが迫った。約2.7トンという日本が打ち上げる宇宙観測衛星としては最大級だが、期待される観測成果も最大級。80億年彼方の巨大ブラックホール、宇宙最大の天体である銀河団の詳細など、人類は日本の科学技術力によって、宇宙のまったく新しい姿を目の当たりにすることになる。およそ40年にわたって世界のX線天文学をリードしてきたJAXA宇宙科学研究所の経験と蓄積が実現した「夢の宇宙天文台」に熱い期待がそそがれている。

文・山根一眞

「ASTRO-H」は、軟X線望遠鏡（SXT-S）、軟X線望遠鏡（SXT-I）、硬X線望遠鏡（HXT・2基）という4基の望遠鏡がX線を集める。4種類6台の検出器、軟X線撮像検出器（SXI）、軟X線分光検出器（SXS）、軟ガンマ線検出器（SGD・2基）、硬X線撮像検出器（HXI・2基）で、宇宙からくるX線と軟ガンマ線を検出する。軟X線望遠鏡以外は純国産。極低温に保つための冷凍機や真空断熱容器など日本のものづくり力が満載だ。

H—ⅡAロケット30号機の先端部分、フェアリングに収められる「ASTRO-H」は高さが約8mだが、分離後の宇宙空間で、先端に「硬X線撮像検出器・HXI」が装着されている伸縮光学ベンチ（EOB）が伸びて観測を開始する。

電磁波の波長による宇宙の見え方の違い

波長が長い　　波長が短い

電磁波の波長によって天体の姿はまったく異なって見える。図中央に並ぶ楕円は全宇宙をとらえた画像で、波長による見え方の違いがよくわかる。その下に並ぶ衛星は、それらの観測を行った観測衛星だ。一般に冷たい天体は波長が長い電磁波を出し、熱い天体ほど波長が短い電磁波を出している。(作図・山根一眞)

X線天文衛星「ASTRO-H」は、2016年2月12日(予定)、種子島宇宙センターからH-IIAロケット30号機で打ち上げられる。

「ASTRO-H」は宇宙空間で宇宙をX線で観測する望遠鏡だが、純粋な科学ミッションであるため理解されにくい面がある。だがX線で宇宙を解明する取り組みは、日本が世界をリードしてきた分野だ。「ASTRO-H」は、その40年近い科学的、工学的な経験と蓄積をもとに作り上げた、とてつもない能力をもった、日本ならではの「世界一」のX線天文衛星なのである。

2015年11月末に機体が公開されたが、その大きさには誰もが圧倒されたようだ。2005年に打ち上げられたX線天文衛星「すざく」は全長が約6.5mだったが、「ASTRO-H」は伸展部を含めれば約14mと2倍以上。質量も「すざく」の約1.7tに対して1.5倍以上の約2.7tと大型の乗用車並だ。

望遠鏡による天体観測は、1609年にガリレオ・ガリレイの望遠鏡で始まり長い間可視光線での観測時代が続いた。だが、天体が発している信号は可視光線だけはない。人の眼では見えない、つまり可視光線以外のさまざまな光(電磁波)が天体の異なった姿を伝えている。そこで、電波や赤外線で宇宙を観測する試みが始まった。一方、電波望遠鏡や赤外線望遠鏡は地上での観測が可能だが、紫外線、X線、ガンマ線など波長が短い電磁波は大気に遮られて地上には届かないため、長い間観測は不可能だった。この短い波長による宇宙観測は、望遠鏡をロケットによって宇宙に運べる時代を迎えて初めて可能になったのである。

「ASTRO-H」は、大型のH-IIAロケットという打ち上げ手段を前提に計画され、世界のX線天文学にまったく新しい世界を拓くことが期待されている。高橋忠幸プロジェクトマネージャは、「世界一のものを作るという思いで観測機器の開発を進めてきた。観測機器は地上で実績ある検出器を応用するのが普通だが、「ASTRO-H」は宇宙で初めて使うことを念頭において開発した」と語っている。

その観測機器とシステムだけでも本が何冊も書けるほどだが、その観測システムは大きくわけて4つになる。

軟X線分光観測、軟X線撮像観測、硬X線撮像観測、軟ガンマ線観測だ。「軟…」とか「硬…」はちょっと不思議な用語だが、「硬X線」とはエネルギーが高く透過力の強いX線を指す。レントゲンや空港の手荷物検査などで使うX線がこれだ(波長は0.01nm前後)。「軟X線」は、人体やアルミホイルでも遮蔽できる、エネルギーが小さく透過力もさほど高くないX線(波長は1nm前後)。「ASTRO-H」では4種の超高性能の観測システムが同時に機能することによって、「すざく」と比べて10倍から100倍も高感度の観測が可能となった。

そのスーパー観測能力によって、80億年彼方の巨大ブラックホールの分布や挙動、銀河団(ダークマターの重力で形成された宇宙最大の天体)の詳細が明らかにされるはずだ。その期待が国際的にきわめて高い。このことは「ASTRO-H」プロジェクトが、JAXA、NASAをはじめ国内外の大学・研究機関の200名を超える研究者が参加して進められてきたことが物語っている。

銀河系内の恒星質量ブラックホール（左）、銀河中心の巨大ブラックホールとジェット（右）の想像図。（出典・NASA/JPL-Caltech）

ブラックホールも解明

宇宙からX線が届いていることが米国で判明したのは1962年。その劇的な発見から54年目に日本が打ち上げる「世界一のX線天文衛星」にはどんな期待がかけられているのか。X線天文学の第一人者に聞いた。

牧島一夫
MAKISHIMA Kazuo
理化学研究所
グローバル研究クラスタ
研究顧問。
X線天文学の第一人者。
国際宇宙ステーションに搭載した
全天X線監視装置MAXIも手がけた。

――「ASTRO-H」は何とも壮大なミッションですが、どんな成果を期待されていますか？

牧島　まず第一に、巨大ブラックホールが宇宙の歴史の中で、いつどうやってできてきたかを探ることですね。これまでＸ線で観測できなかったはるか遠方の銀河にもブラックホールがあるのかどうか。巨大なブラックホールが生まれて育ってきた、その歴史を見ましょうと。

――ブラックホールは全ての銀河にある？

牧島　そう、ほとんど全ての銀河の中心にあります。一銀河に一匹、太陽の1000万倍から10億倍ほどの質量をもったモンスターがいます。

――２番目は？

牧島　「銀河団」のガスの中の重元素を調べる。メジャーな元素だけではなく、マンガンだのクロムなども。

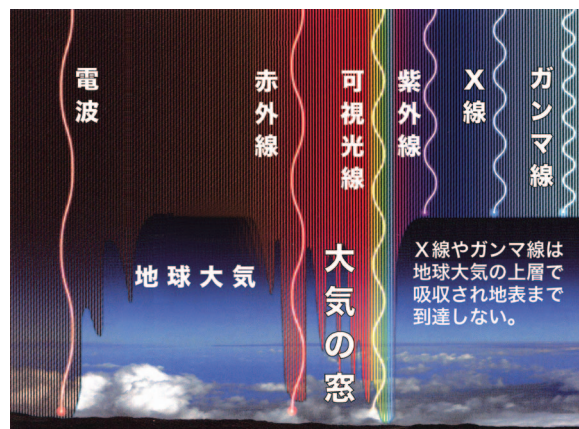
――そんな元素がすでにできている？

牧島　できてます、必ずある比率で。ただし鉄に比べて例えばマンガンは約100分の1と少ない。その比率を知ることは、宇宙での元素の作られ方を知る上でとても大事な手がかりになるんです。

――なぜＸ線で元素がわかるんですか？

牧島　各元素は「特性Ｘ線」という元素ごとに決まったエネルギーのＸ線を出しているからです。そのスペクトルを見るのです。「ASTRO-H」の一番の売りは、それを観測する分解能がきわめて高い点です。これまで観測不能だった微量元素まで検出できるので、重元素のでき方が非常によくわかるはずです。

――その観測によって、「○○銀河団ですごいことが分かった」というニュースが出そうですが？

牧島　いや、われわれは個別の銀河団がこんなだったといった各論のみを目指しているわけではないんですよ。目指しているのは「総論」です。宇宙での物質のできかたとはどういうものなのかといった統一的な姿を描き出したいんです、少なくとも私は。こうした重元素のできかたに関しては、地上の加速器で実験を行う実験核物理学の科学者たちと協力する予定です。

電波、赤外線、可視光線は地上に届くが、波長が短い天体から届く紫外線やＸ線、ガンマ線は大気に吸収されて観測できない。

――ますます壮大なプロジェクトですね。３番目は？

牧島　「銀河団ガス」の詳細観測です。宇宙でもっとも大量にある「普通の物質」は、銀河団に閉じ込められたガスで、X線を放射します。高温なので個々の分子は激しく熱運動していますが、ガス中にどれだけ渦のような乱流が起きているかは、わかっていません。

――それにはどういう意味が？

牧島　ダークマター（暗黒物質）の量をより正確に知るためなんですよ。

――えっ、宇宙にある物質のうち、観測可能な陽子や中性子は宇宙全体の物質量のおよそ５パーセントにすぎず、少なくてもその５～６倍はまだ観測されていないダークマターだと言われていますが、どうやってそれを調べるのですか？

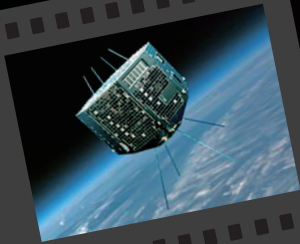
牧島　直接には観測できませんが、間接的に推定できます。銀河団ガスのもつ熱エネルギーは、X線で測った温度から計算できます。しかし「ASTRO-H」の観測により、ガス

1979

1983

1987

1993

2005

はくちょう

日本初のX線天文衛星。「すだれコリメータ」により、X線天体の天空上の位置を高精度で決定できるようになる。これにより、未知のX線バースト源が数多く発見され、日本のX線天文学を一気に世界トップレベルへと押し上げた。

てんま

新開発の観測装置により、X線天体源の本格的な分光観測の道を拓いた。「銀河リッジ放射」の発見により、銀河X線放射の起源と正体の解明がX線天文学の重要研究課題の一つとなった。

ぎんが

当時最大級の面積と高感度の観測装置を搭載。超新星1987AのX線検出や、多数のブラックホール候補天体の発見を行った。また、観測機器の海外研究者との共同開発など、本格的な国際協力がスタートした。

あすか

日本初の本格的X線望遠鏡や世界初のX線CCDカメラなどを搭載。飛躍的に向上した感度により、活動銀河核から放射されたX線の解析から、銀河の中心部に超巨大ブラックホールが存在する可能性を支持するものとなった。

すざく

「あすか」よりもさらに感度を高めたX線望遠鏡と観測装置を搭載。宇宙空間に鉄が拡散した年代が、今から100億年以上も前であることを発見し、銀河団の形成・成長のプロセスを観測的に検証した。

宇宙科学研究所が打ち上げてきたX線天文衛星の系譜。「ASTRO-H」は1979年の「はくちょう」から37年、6機目の挑戦になる。

がより大量の運動エネルギーをもつとなると、これまで考えてきたより大量の暗黒物質が必要です。「銀河団のガスの乱流」を知ることは、暗黒物質の量を推定することにつながるんですよ。

——これは宇宙論にとって、重要な研究ですね。

牧島　４番目にですね、天体起源の加速されたX線源を探そうというものです。「SPring-8」は御存知ですか?

——はい、世界トップの加速器ですね。播磨市の現場は何度も訪ねています。電子を光とほぼ等速まで加速させ、磁石によって進行方向を曲げてやると、超強力かつ極細のX線が飛び出してくる。それを「放射光」と呼ぶ。それを使って物質の微細構造を調べることができる。

牧島　そう、宇宙ではその放射光のような天体がたくさん知られているので、そこで粒子がどこまで高いエネルギーに加速されているかを知りたいのです。それと少し関連しますが、私は長年、磁場を持つ中性子星を調べてきましたが、それらより 100倍も強い磁場を持つと考えられる中性子星が発見されつつあります。

——それはどこにあると考えられますか?

牧島　我々の銀河系の中です。「SPring-8」などで使う磁場より一千億倍も強い磁場をもった、とんでもない連中がいるんですよ。「マグネター」と呼んでいますが、そいつを追いつめたいんです。

——宇宙はどう生まれ進化してきたかはまだ謎だらけ。「ASTRO-H」は、その未知の暗黒部分のベールを一枚、二枚と剥がしてくれる。期待にわくわくします。

牧島　X線は可視光と比べて波長でいうと1000分の1ほど短い。一方、エネルギーは1000倍で(1個の光子エネルギーで比較)レントゲン写真のように透過力も強い。ところが非常に不思議なことに、宇宙から来るX線は地球の大気を貫けない。大気はきわめて厚いので、大気中のチッ素や酸素などの分子に吸収されてしまうからなんです。

——では、宇宙からX線が届いていること自体、わからなかった?

牧島　そうです。宇宙からはX線が届いていることがわかったのは1962年のことで、発見者はノーベル物理学賞を受賞しています。

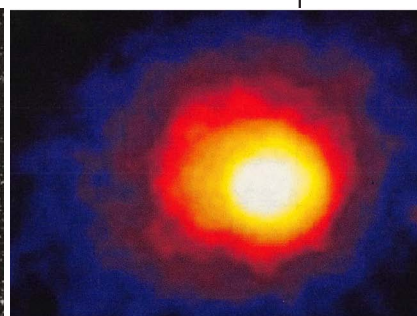
——X線天文学が宇宙科学研究のお家芸になったのはどうしてですか?

牧島　その大発見の現場(マサチューセッツ工科大学)に立ち合っていたのが、日本のX線天文学の開祖で、後に宇宙科学研究所の所長もつとめられた小田稔先生で、X線天文学の進歩に大きな貢献をされました。

——どのような貢献を?

牧島　反射や屈折を起こしにくいX線が、どの方向から来たかを正確に測る、「すだれコリメーター」と呼ぶ装置を開発されたのはその一つです。その小田先生の存在があったことで、宇宙を解明する新分野であるX線天文学に多くの研究者が集まってきたんです。

——「ASTRO-H」は、そういう日本の厚く熱い伝統を担って開発され、打ち上げられるんですね。

牧島　緻密な国際協力が続いてきたことも特筆すべきことです。それは1987年の「ぎんが」から始まり、「ASTRO-H」につながっているわけです。

「ASTRO-H」が観測を目指す100個以上の銀河からなる銀河団のひとつ、ケンタウルス座銀河団。左は可視光、右はX線で観測。1000万度〜1億度のガスが充満しているが、それは暗黒物質によって閉じ込められていると考えられている。写真:NASA Sky View(左・可視光)。JAXA/東京大学(右・X線))。

2016年度の打ち上げが予定されているジオスペース探査衛星（ERG）の観測イメージ図。

X線とならぶ柱「磁気圏」と「プラズマ」

物質を作っている原子が原子核と電子にバラバラになった状態が「プラズマ」（電離ガス）。宇宙の物質の99.9%以上がプラズマ状態にあり、それは「磁気圏」との相互作用がある。X線天文学とならび宇宙科学研所のお家芸であるその世界について藤本正樹さんに聞いた。

——宇宙科学研究所の科学ミッションでは、X線天文学と並んで「プラズマ」や「磁気圏」の探査が大きな柱です。しかし、1992年に打ち上げた「GEOTAIL」のように衛星の名称もアルファベット表記のみ。「磁気圏尾部観測衛星」と聞いても、ピンときませんでした。

藤本　「GEOTAIL」はNASAとの共同プロジェクトであったためにこういう名称になったんでしょう。また、これまではこういう科学ミッションについて一般への広報に力を入れようという時代ではなかったですから。

——チームはこのミッションに没頭してきたわけですね？

藤本　地球の周囲の宇宙空間を調べる衛星が次々に打ち上げられたのは1960年代、アポロ計画の時代です。人が宇宙へと出て行くにあたって、宇宙環境がどういうものかを調べる必要があったからです。また、プラズマや磁気圏は宇宙へ出てまず調べられるテーマだった、ということもあります。

——「プラズマ」と「磁気圏」ですが、どういう世界なんですか？

藤本　太陽を例にとると、太陽からは常に太陽風というガスが四方八方に出ています。そいつが太陽の磁場を引っ張り出すんです。

——ガスが磁場を引きずり出す!?

藤本　そう、それは太陽系全体に広がっている（アルキメデススパイラル）。アメリカの惑星探査機「ボイジャー」が「太陽系の端」に到達したというニュースがありましたが、あれは、太陽から引きずり出された磁気が満ちているエリア（磁場）の端に至ったという意味なんです。

——太陽系は実際は数光年というはるかに大きいサイズだと聞いていますが？

藤本　それは、太陽の「重力」が影響している空間のことですね。つまり、「磁気圏太陽系」と「重力圏太陽系」ではサイズが異なるわけです。太陽系のその広大な「磁気圏」のおかげで地球は守られている。太陽系の外から届く強力な銀河宇宙線は大気に当たるとエアロゾル（微細な塵）をコアにして雲を多く作る。その雲が増えれば気温が下がり氷河期になる。太陽の活動が低下すると氷河期になるのはそのためだと言われています。

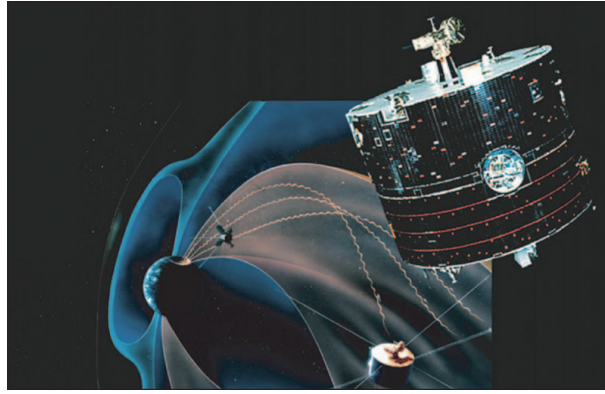
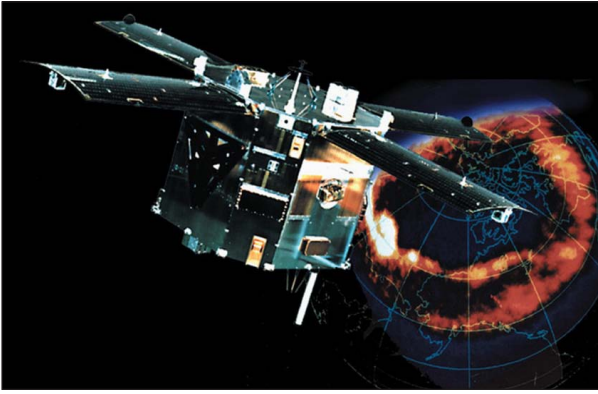
——太陽の磁気圏が地球の気候に影響しているとは驚きです。磁気圏はえらい力を持っているということですね？

藤本　そう。太陽から吹き出すガスが磁場を引きずり出し、磁力線がニューッと伸びて、どこかでちぎれる。磁気はエネルギーを持っているので、磁力線がちぎれると爆発が起こります。それを宇宙空間の爆発現象と呼んでいます。宇宙には何もないように見えますが、磁場という形でエネルギーが溜まっていて、ある時に急に光る現象が起こることがあるわけです。

——地球の磁場も引っ張られている？

藤本　もちろん。引っ張られたりちぎれたりしています。それが地球の尾っぽのようなので「GEOTAIL」（地球の尾）と呼んでいる。それがちぎれる時に光るのがオーロラです。

——「GEOTAIL衛星」の名の由来というわけですね。

1989年に打ち上げられたオーロラ観測衛星「あけぼの」(左)と1992年の磁気圏観測衛星「GEOTAIL」(右)。

藤本正樹
FUJIMOTO Masaki

宇宙科学研究所 教授。
宇宙プラズマ物理学が専門で地球磁気圏、オーロラ、日欧共同の水星探査機BepiColomboなどを手がけてきた。

磁気圏を調べるのは、地球に住む人の命にとっても大事だということがよくわかりました。

――牧島先生からとんでもなく磁場が強いマグネターという天体があると聞きましたが。

藤本　磁場があまりにも強く、電子の運動が量子化するという、わけの分からない、ブラックホール並に気持ちの悪い天体ですね。いずれによせ、磁場による現象は宇宙のいたるところで起こっていて、それが星だけでなく、われわれの世界である惑星を作り出すことに関係しているのだろうと僕は思っているんですがね。

――宇宙にある物質の99.9パーセント以上は、原子核と電子が分離したプラズマ状態だというのはなぜですか?

藤本　宇宙は希薄な空間ですから、X線や紫外線などエネルギーの高い電磁波が当たればすぐにプラズマ化してしまうからでしょう。そのプラズマは磁気圏とも深く関係している。この宇宙のメカニズムを解明することは、宇宙を知るためにも、地球を知るためにも重要な課題なんですよ。

――宇宙科学研究所は、1970年に日本初の人工衛星「おおすみ」を打ち上げ、そのわずか2年後に科学衛星「でんぱ」を宇宙へ送っています。その目的を見ると、「プラズマ波、プラズマ密度、電子粒子線、電磁波、地磁気等の観測」とあります。日本の科学衛星の歴史は「プラズマ」「磁気」の観測で始まっているんですね。

その後、1978年の「きょっこう」、「じきけん」、1985年の「すいせい」、1989年の「あけぼの」、1991年の「ようこう」、1992年の「GEOTAIL」、2005年の「れいめい」、2006年の「ひので」と、連綿と「プラズマ」「磁気圏」の観測が続いていますが、その継承の意味がよくわかりました。

ところで、2017年に打ち上げ予定の「水星磁気圏探査機 MMO」も水星の磁気を調べるのが目的だそうですが、何を探ろうとしているんですか?

藤本　水星の磁場はかなり深い所で起っているんですが、磁場は北側にずれている。おそらく地球とは違う磁場のでき方をしていると言われています。水星は太陽に近いので強い太陽の磁場の影響を受けているはずです。そのため水星磁場圏は相当めちゃくちゃなことになっているはずです。水星は磁場の形がちょっとずれていて、地球と比較するのにうってつけなんです。比較から、太陽の影響下にある惑星の磁場圏について多くの知見が得られるのではと思っています。

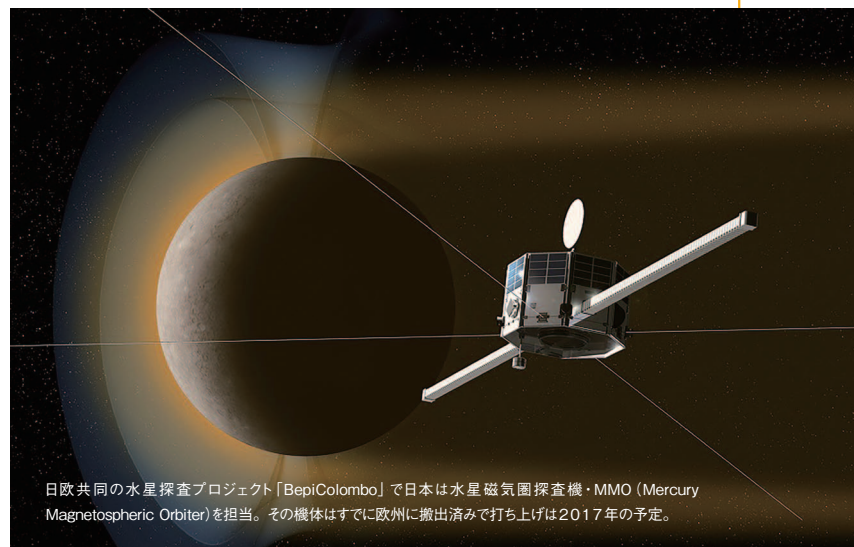
――太陽系の惑星の磁場はそれぞれ異なっている?

藤本　相当違います。金星には磁場がない。惑星中心部が溶けたままであることが理由だろうという理論はあるんです。一方で、かつては磁場があったが今はない火星も、中身は溶けたままだと言われています。

――火星探検者はコンパスが使えないのですね。

藤本　磁場があるのは水星と地球だけなんです。そういう意味からも水星探査は大事なんですよ。

――「BepiColomboプロジェクト」では、欧州は水星の地形など表面を調べ、日本は磁場を調べる役割を担う。日本の「磁気圏」研究が世界のトップにあることを実感します。

藤本　この分野では、衛星によって得た「プラズマ」や「磁気圏」の観測データをもとにスーパーコンピュータを使って解析し理論を構築するのが大事な研究手法です。JAXAでは早くから研究者がスパコンを自由に使える環境があったことも、この分野で世界のトップレベルにあり続けてきた理由でもあるんですよ。

日欧共同の水星探査プロジェクト「BepiColombo」で日本は水星磁気圏探査機・MMO(Mercury Magnetospheric Orbiter)を担当。その機体はすでに欧州に搬出済みで打ち上げは2017年の予定。

変わりゆく地球を宇宙から見る

気候変動研究・地球温暖化防止に貢献するJAXAの地球観測衛星

世界の雨分布リアルタイム（GSMaP_NOW）より

安全保障 防災
産業振興
フロンティアへの挑戦

GPM

しずく

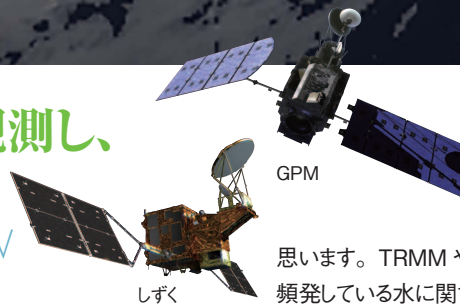
世界の水循環を宇宙から観測し、防災に役立てる

TRMM, GPM, AMSR-E & GCOM-W

熱帯降雨観測衛星TRMM（1997～2015年）
全球降水観測（GPM）主衛星（2014年～）
AMSR-E（NASAの地球観測衛星Aquaに搭載、2002～2011年）
水循環変動観測衛星「しずく」（GCOM-W）（2012年～）

可知 美佐子
KACHI Misako
第一宇宙技術部門
地球観測研究センター
主幹研究員/研究領域リーダ

気候変動の問題は水循環の変動とも大きく関わっています。そして、水循環に関わる衛星はJAXAのお家芸の一つといえます。

日米共同ミッションの熱帯降雨観測衛星TRMMは17年にわたって熱帯域の降雨量を降雨レーダで観測しました。現在はその後継にあたる、同じく日米共同のGPM（全球降水観測）主衛星の2周波降水レーダが中高緯度も含めた世界の降水量を観測しています。GPM主衛星は、複数の衛星が連携して全球の降水を観測するGPM計画の中心となる衛星で、観測を開始してからもうすぐ2年になりますが、TRMMによる観測と継続したデータを作ろうとしているところです。気候変動の研究には20年、30年といった長期間の観測データの蓄積が必要なのです。TRMMのデータは気候変動を予測する数値モデルの検証データとして使われてきました。今後はGPMのデータも含めて使われていくと思います。TRMMやGPMのデータは、最近世界各地で頻発している水に関する災害の対策にも有効です。

北極海の海氷分布。2012年9月16日「しずく」/AMSR2[検証中]（観測史上最小分布）。

GPM主衛星を含めたGPM計画の重要な成果物にGSMaP（全球降水マップ）があります。GSMaPは準リアルタイム（観測から4時間遅れ）で世界の雨分布を1時間ごとに表示するもので、JAXAのウェブサイトで公開されています。さらに、私たちは2015年11月に、気象衛星「ひまわり」の観測域に関してリアルタイム版の「GSMaP NOW」を公開しました。こちらは観測から30分以内に利用可能なデータを用いて降水マップを作成し、「ひまわり」の雲の動きを計算して30分後の降雨域を推測し、現在時刻の降雨分布を表示するもので、今、雨がどこで降っているかを知ることができます。このデータは、毎時0分と30分に更新されています。

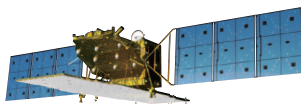
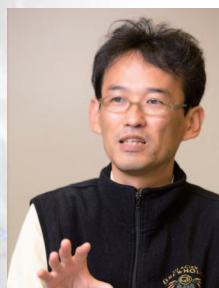
現在、北極海の海氷は減少傾向にあり、その変動は地球温暖化との関わりを含めて世界的に注目されています。これまで氷に閉ざされていた北極海に、夏の期間、船舶が行き来できる航路が開けつつあるからです。NASAの衛星Aquaに搭載されたJAXAの改良型マイクロ波放射計AMSR-Eは、9年以上にわたり北極海の海氷の変動を高分解能で観測してきました。その後継となる「しずく」のAMSR2（高性能マイクロ波放射計2）では分解能が30%程度向上し、海氷の状態をより詳細に観測することができるようになりました。

AMSR2は2012年に、北極海の海氷面積が衛星観測史上最小になった際の観測を行いました。AMSR2の最近の観測によると、2015年の北極海の海氷面積は歴代3位の減少を記録しています。

AMSR-Eを含めたマイクロ波放射計による北極海の海氷の長期の観測結果は、IPCCの第一作業部会による第5次評価報告書にも掲載されています。JAXAでも、アメリカの衛星のデータも使い、過去30年間以上におよぶ海氷密接度のデータを作成し、ウェブサイトから公開しています。

だいち2号

世界の森林分布観測や違法伐採の監視に成果をあげる

ALOS & ALOS-2

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)(2006～2011年)
陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)(2014年～)

渡邉 学
WATANABE Manabu
第一宇宙技術部門
地球観測研究センター
主任研究員

2014年の国連気候サミットで、世界の森林の減少面積を2020年までに半減し、2030年までにゼロにするというニューヨーク宣言が採択されました。今後、世界の森林保全はますます重要になってくると思います。宇宙からの森林監視にはレーダが威力を発揮します。「だいち」に搭載されていた合成開口レーダPALSARは、ブラジルで森林監視を行い、違法伐採抑止に貢献しました。光学センサでの熱帯林観測は、雲があるため平均して6か月に1回程度の観測頻度になってしまいます。レーダならその心配はなく、高い頻度で観測が可能です。PALSARや「だいち2号」に搭載されているPALSAR-2には森林の監視に適したLバンドという周波数が使われています。この特徴を生かし、独立行政法人国際協力機構(JICA)と国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)は共同して、「森林変化検出システム」の構築を行います。本システムでは、平均して1か月半に1回程度の頻度で全世界の熱帯林を観測し、地球全域での熱帯林伐採・減少の状況を常時監視します。これにより、森林減少が深刻な国々の違法伐採等が抑止され、長期的には森林減少を抑制することによる気候変動の有効な対策として期待されます。

PALSAR-2は地殻変動をとらえるためにも用いられます。地震が起こった時の広い範囲の地殻の動きを捉えられるのは、森林部を透過して地表面の変動を捉える事が可能なLバンドのレーダだけなのです。気候変動に関連していうと、PALSARと同様に、「だいち2号」のPALSAR-2も流氷の動きと分布を調べることに使われています。また、PALSAR-2のデータを用いて北極圏の氷河の動きをとらえようという研究も行われています。

増え続ける温室効果ガスを全球レベルで高精度に観測

いぶき

GOSAT & GOSAT-2

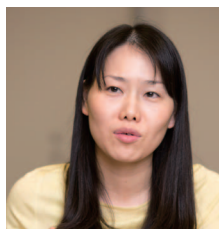
温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)(2009年～)
温室効果ガス観測技術衛星2号(GOSAT-2)(2017年度打上げ予定)

塩見 慶
SHIOMI Kei
第一宇宙技術部門
地球観測研究センター
GOSAT-2プロジェクトチーム(併任)
主任研究員

「いぶき」の最大の成果は、全球の二酸化炭素濃度を誤差0.5%という非常な高精度で観測したことです。「いぶき」の6年間のデータによると、上昇を続けている大気中の二酸化炭素濃度の地球大気全体での平均濃度は2015年7月で約398ppmでした。このまま上昇が続けば、2016年中には400ppmに達するとみられています。二酸化炭素の排出量については、地上のデータをもとにした「台帳」ができていますが、「いぶき」が宇宙から二酸化炭素濃度を測ることによって、その台帳が過小評価している可能性のある地域が見えました。今後、「台帳」の誤差を低減させることにきっと貢献できるはずです。

「いぶき」はメタンの濃度も観測しています。メタンの排出源である人口密集地、石油・天然ガス施設、稲作・湿地帯、畜産地帯といった場所での高いメタン濃度が観測できました。メタン排出量の「台帳」は誤差が大きく、「いぶき」の観測で過小評価している地域が見えただけでなく、発生原因毎の「台帳」の数値評価に迫る成果がでてきました。

「いぶき」は打ち上げから6年がたち、後期運用に入っています。これまではグローバルな観測を行ってきましたが、現在は温室効果ガスの主要な排出源や吸収源に迫る観測を行っています。私たちが現在準備を進めているGOSAT-2でも、大都市などの主要排出源を観測したいと考えています。GOSAT-2はより高性能な観測センサを搭載して、さらなる温室効果ガス観測精度の向上を目指します。GOSAT-2では、温室効果ガスと一緒に、一酸化炭素を観測することで、排出源が石油の火力発電所なのか、石炭火力なのか、あるいは森林火災なのかといった排出源の燃焼原因のことまでわかるようになります。さらに、PM2.5やブラックカーボン(煤など)といったエアロゾルを測ることにより、大気汚染の監視にも貢献します。

JAXAの地球観測衛星の成果を世界に使ってもらう

松尾 尚子
MATSUO Naoko
第一宇宙技術部門
衛星利用運用センター
主任開発員

私は国際協力を担当しており、JAXAの地球観測衛星の国際的な貢献を調整する活動も行っています。

2015年は世界の社会課題に対する共通目標を決める重要な国際会議が多く、3月に仙台で第3回国連防災世界会議、9月に国連で「持続可能な開発サミット」、12月にパリでCOP21(気候変動枠組み条約第21回締約国会議)が開催されました。これらは、世界が直面する貧困、教育、災害、気候変動などの多様な社会課題に対して各国が協力してどう取り組んでいくか今後15年間の枠組みをきめるものです。私は、政府間地球観測会合(GEO)や地球観測衛星委員会(CEOS)などの国際枠組みをふまえ、JAXAの地球観測衛星によるこれら課題の解決について検討をおこなってきました。

2015年12月のCOP21では、各国より豪雨など災害の増加、森林の減少などが多数報告され、気候変動への適用と緩和が喫緊の課題であるとリアルな声を聞きました。そこで発表したJICA-JAXA「森林変化検出システム」へは、熱帯雨林保有国から高い評価を得ましたし、GOSATによる二酸化炭素やメタンのデータにも関心が寄せられました。

また、日本がリーダーシップを発揮した2015年3月の仙台での国連防災世界会議では、安倍首相は日本の貢献策として「仙台防災協力イニシアティブ」を発表しました。この中で、世界の防災の実現に「日本の知見・技術」を活用するとし、JAXAが主導するセンチネルアジアといった災害監視の国際協力枠組みを支援することが述べられています。

2015年に定められた各種の目標や枠組みに対し、今後は多くの国が防災計画や気候変動にかかる計画に衛星データを使うという動きがでてくるでしょう。これまでのJAXAの衛星データやイニシアチブの成果を、これからの世界の目標達成に貢献できるよう応えていきたいと思います。

世界の距離を縮める 次世代超音速旅客機実現へ

低ソニックブーム設計概念実証試験の成功

2015年7月24日、JAXAはスウェーデン・エスレンジ実験場において、低ソニックブーム設計概念実証プロジェクト第2フェーズ試験（D-SEND#2（ディセンドツー））の飛行試験を実施しました。得られたデータを解析した結果、JAXA独自の機体設計技術によって、超音速飛行時に発生するソニックブームを低減させたことが明らかになりました。実証試験成功の意義を、吉田憲司D-SENDプロジェクトマネージャに聞きました。

取材：笠原次郎

吉田 憲司
YOSHIDA Kenji
航空技術部門
D-SENDプロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

高度30.5kmで気球より分離落下した瞬間のD-SEND#2試験機「S3CM」。

分離落下試験のため、気球に繋ぐゴンドラに固定され、自走式クレーン車からつり下げられたD-SEND#2試験機（S3CM）。

超音速機のソニックブーム低減を飛行実証

——ソニックブームを低減させる研究はどのようにしてはじまったのですか。

吉田　JAXAでは次世代超音速旅客機の研究を続けてきました。1997年にスタートした「次世代超音速機技術の研究開発(NEXST（ネクスト）)」では空気抵抗を低減させる技術の開発を行いました。2006年よりスタートした「静粛超音速機技術の研究開発」の中の一部を切り出す形で2010年に始まったのが、「ソニックブームを低減する機体の設計技術の確立」を目指すD-SENDプロジェクトです。D-SENDプロジェクトでは2011年に予備試験として第1フェーズ試験（D-SEND#1）を行い、その成果を元に、今回第2フェーズ試験として独自のソニックブーム低減技術で設計した全長7.9m、重量1トンの超音速試験機を大型気球から高度30.5kmで分離落下させ、発生するソニックブームを計測、技術の実証を行いました。

ソニックブームとは、航空機が音速を超えたときに機体の各部から発生する衝撃波が、地上に到達する際に機体の先端と後端で発生する衝撃波に集約され、二つの大きな圧力上昇として、地上で「ド、ドーン」と大きな破裂音をもたらすものです。超音速機が通過する空域の下、進行方向に対して横方向に幅60km〜100kmのベルト状の広い範囲（ソニックブーム・カーペットと呼ばれます）まで影響するため、世界初の超音速旅客機コンコルドは当時陸地の上での超音速飛行を禁止されていました。次世代超音速旅客機では、このソニックブームの低減がどうしても達成しなくてはいけない課題になっています。

ソニックブームの圧力変化を計測するとアルファベットの「N」に似た波形となります。ソニックブームの低減（低ブーム化）には、この「N型」波形の上向きのピークレベル（先端の衝撃波）と、下向きのピークレベル（後端の衝撃波）の両方を下げることが必要です。先端の衝撃波を低減することは米国（NASA等）においてすでに飛行実証されていますが、後端の衝撃波の低ブーム化は実現できていませんでした。後端の衝撃波を低減しようとすると、従来のソニックブーム低減理論では機体の姿勢が保てずまっすぐ飛行できなくなるという課題があるからです。

今回の試験機では、先端部分は上面と下面の形状を非軸対称的に、後端は主翼形状の3次曲面的なうねりや胴体後部を幅広な形状にするなどJAXA独自の機体設計概念が適用されており、世界で初めて「機体姿勢を保ちながら先端及び後端のソニックブームを低減する」飛行を実証することができました。2005年の「NEXST」の成功からちょうど10年目のメモリアルイヤーである今年、この実証試験に成功できたことは関係者にとって大変喜ばしいことでした。

国際基準の策定に貢献していく

——今回の成果は今後どのように活用されていくのでしょうか?

吉田　ICAO（国際民間航空機関）の中のCAEP（航空環境保全委員会）でソニックブームの国際基準の策定に向けた検討が進められています。第2フェーズの試験結果は国際貢献として既にCAEPの下の

確実な一歩!!
で見えてきた日本独自の技術力

SSTG(超音速タスクグループ)に報告し、技術的に高い評価を得ています。但し、環境基準の策定はなかなか難しく、「どこまで下げればコミュニティとして許容されるのか」「客観的指標は何か」という議論が今後も継続されていくものと思います。また今回計測された低ブーム波形は当初予測していたものと若干異なっていまして、これは大気乱流がソニックブームに影響を与えていたからでした。JAXAでは新たに解析ツールを開発し、低減されたソニックブームに対する大気乱流の影響について詳細な解析を行って有用な知見を得ましたが、これも世界初の成果です。この成果も今後の国際基準策定に大いに貢献できるものと思っています。

一歩近づいた
超音速旅客機の世界

――今回の第2フェーズ試験の成功で、次世代超音速旅客機の課題は解決できたと考えてよいのでしょうか？

吉田　ライト兄弟以来、航空機は常にスピードを追求して技術開発が行われてきました。運航コストや離着陸時の騒音、ソニックブームの問題を抱えコンコルドは、2003年に退役しましたが、超音速旅客機のスピードはやはり魅力です。超音速旅客機の抱える課題は経済性と環境適合性の二つがあるわけですが、まだ完全に解決というわけにはいきません。

現在JAXAが考えている次世代超音速旅客機は、「50人乗り、マッハ1.6、機体重量70トン」という比較的小型のものです。これをモデルにした場合、経済性は「NEXST」の成果で空気抵抗がコンコルドより13%低減。これに機体重量の軽さとエンジンの改良を加えると、燃費をコンコルドの80%程度まで改善することが可能と考えています。試算によれば燃費を20%低減できると、現在のビジネスクラスの1割増し程度の運賃で運航が実現するそうです。また、環境適合性ですが、ソニックブームは機体重量も影響しますので、低ブーム設計技術をJAXAが考えている機体に適用しますと、コンコルドの25%まで低減できると思われます。

離着陸時の騒音につきましては、今後これまでより厳しい基準が適用されますので、我々の技術を更に進める必要がある、などまだまだ課題は残っていますが、次世代超音速旅客機実現へ確実に一歩近づいたことは確かだと思っています。

技術開発の先頭を走り続けること！

――次世代超音速旅客機実現に向けて、今後のJAXAの役割はなんでしょうか?

吉田　「国際協力で貢献していく」「国際競争で勝てる技術を開発していく」の両面があると思います。

今回の試験結果をICAOに提供するのは国際貢献です。これは今後も継続していきます。このような貢献を通して、超音速旅客機の開発に対する機運醸成に繋げていきたいと考えております。一方、超音速旅客機の開発にはJAXAが想定する50人乗りの機体規模でも1兆円以上の開発費用がかかると推定されますので、当然のことながら国際共同開発という形態になります。つまり、その中でいかにシェアを拡大するかの点では国際競争となります。B787では35%のシェアを日本企業が占めましたが、やはり位置づけとしては製造分担です。次世代超音速旅客機では、空気抵抗低減や低ブームの特許を日本が持っていますので、今までと異なり設計段階からイニシアチブをとることも可能と思われ、それによってシェア拡大に繋がると考えます。ただ、特許を持っていることは強みではありますが、特許を出し続けて、技術開発の先頭を走り続けていかないと、最終的に設計のテーブルに日本がたどり着くことはできないと思います。そのために、技術開発を先行的に進め、日本企業に「国際競争で勝てる技術」をバトンタッチしていくことが私たちJAXAの大きな役割だと考えています。

次世代宇宙科学衛星のための宇宙用クローズドサイクル希釈冷凍機

宇宙機による高感度観測では、観測装置などが発する熱ノイズの低減が非常に重要な課題です。そのための新しい冷却技術開発に、JAXA の取り組みがめざましい成果を上げています。

取材：山村紳一郎（サイエンスライター）

高感度観測を支える冷却技術

宇宙機による天文観測では、微弱な電磁波を捉える検出器を使用します。しかし機器が発する熱がノイズとなって高感度観測の妨げになるため、検出器を絶対零度（約－273℃）近くまで冷却する必要があります。JAXA で開発を進めている X 線天文衛星「ASTRO-H」や CMB 偏光観測小型科学衛星「LiteBIRD」といった天文観測ミッションでは、0.05K という極低温が求められています。

宇宙機における極低温までの冷却には、これまで大量の寒剤（液体ヘリウムなど）を使用してきましたが、寒剤は搭載量によるミッション期間の制限や大容量タンク搭載による望遠鏡サイズの制限といった課題があり、寒剤を用いない機械式冷凍機が主流になりつつあります。また、液体ヘリウム温度から0.05K の冷却には断熱消磁冷凍機(ADR)が使用されてきましたが、ADR は磁場を発生させるうえ、連続運転ができないという問題があります。JAXA がフランスの研究機関と共同で研究に取り組んできたクローズドサイクル希釈冷凍機は、これらを解決する新技術です。「この技術が次世代宇宙観測の精度を左右しかねないんだ……という、覚悟と意気込みを持って取り組んできました」（澤田研究員）

宇宙用では世界初のクローズドサイクル冷却に成功

希釈冷凍機では、ヘリウムの同位体であるヘリウム3（^{3}He）と通常のヘリウム4（^{4}He）を用いて極低温を実現します。両者を低温の状態で適切な比率で混ぜると、分離状態から^{3}He の^{4}He への希釈が起こり、このときに熱をうばうために極低温が得られるのです。

「ポイントは“クローズドサイクル”です。ヘリウムを循環させるため、メンテナンスが困難な宇宙空間で連続かつ長期にわたり高効率を保ち続けられます」（澤田研究員）

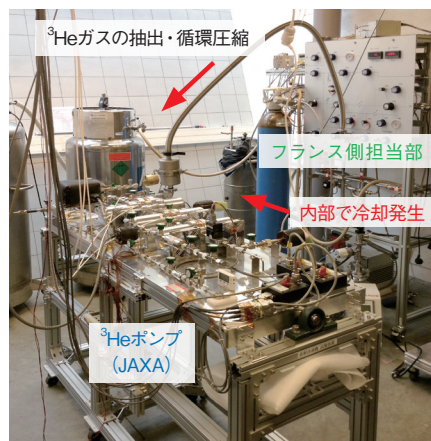
既存の“オープンサイクル”では真空の宇宙空間への開放部を設けることで、その圧力差を駆動源としてヘリウムを強制的に混合（ヘリウムは排出して失われる）。新技術では JAXA が担当した新しい^{3}He ポンプにより、^{3}He の抽出・循環圧縮を実現。2015年5月に実施した冷却実証試験で、宇宙用クローズドサイクル希釈冷凍機としては世界で初めて約0.07K の極低温を達成しています。「低温実験はセッティングに手間と時間がかかるうえ、今回のような大きな成功は数年に1回です。ダメかもしれない…と何度も思いましたが、ようやく結果が出せました」（篠崎主任研究員）

目標は5年間以上0.05K にて高い冷却能力を維持する冷凍機です。2020年代の実現を目指している次世代宇宙科学衛星への適用に向けて、いま、さらなる改良が進められています。

篠崎慶亮
SHINOZAKI Keisuke
研究開発部門
第二研究ユニット
主任研究員

「外国の研究者と文化を越えてのコラボレーションがとても有益でした」

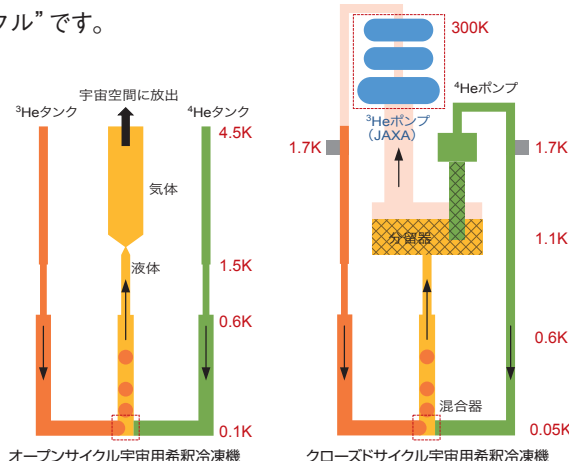
澤田健一郎
SAWADA Kenichiro
研究開発部門
第二研究ユニット
研究員

ずっと熱工学に携わってきた澤田研究員。
「研究だから許されますが、失敗を重ねた分、最後に冷却成功した時の達成感は忘れられません」

冷却実証試験中のクローズドサイクル希釈冷凍機：
冷却実証実験では^{3}Heポンプをフランスに輸送し、フランス側担当部分と結合して試験を実施した。

混合器で冷却発生後の^{3}He-^{4}He混合液から、分留器にてJAXA担当の^{3}Heポンプが^{3}Heを選択的に抽出・循環圧縮を行い、再び混合器にて^{4}Heと混合させた際に冷却が発生する。
※0K=−273.15℃
※300K～1.7KまでのJAXAが開発した機械式冷凍機を適用

^{3}Heタンク
宇宙空間に放出
^{4}Heタンク
4.5K
気体
液体
1.5K
0.6K
0.1K
オープンサイクル宇宙用希釈冷凍機

クローズドサイクル宇宙用希釈冷凍機

JAXA最前線

2015年12月4日、13時9分(日本時間)に「はやぶさ2」のONC−Tによって撮影された地球の画像。地球と「はやぶさ2」の距離は約34万km。画像右上にオーストラリア大陸、右下に南極大陸が見えている。

INFORMATION 1

「はやぶさ2」地球スイングバイ実施

小惑星探査機「はやぶさ2」は、2015年12月3日（木）に地球スイングバイ（地球の引力と公転速度を利用した軌道変更と加速）を実施し、19時08分（日本時間）に地球に最接近、ハワイ諸島付近の太平洋上空約3,090kmを通過しました。今後はイオンエンジンを運転することで加速し、小惑星「Ryugu」（リュウグウ）に向けて航行を続けます。

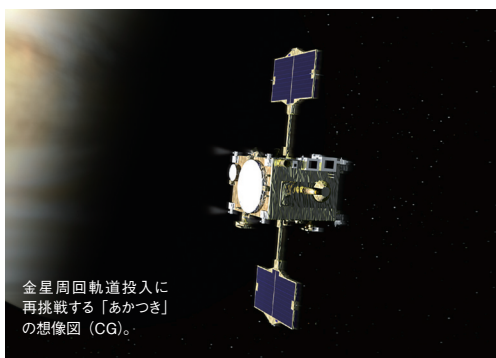
「はやぶさ2」は小惑星探査機「はやぶさ」の後継機であり、「はやぶさ」で培った日本独自の経験と技術を継承・発展させながら、太陽系の起源・進化と生命の原材料を探究、宇宙に人間の活動領域を広げるというフロンティアへの挑戦を目的としています。

「はやぶさ2」が目指す「リュウグウ」はC型と呼ばれる小惑星で、有機物や含水鉱物を含んでいると考えられています。（「C」は炭素質を意味する英語の「Carbonaceous」に由来）。「リュウグウ」から採取したサンプルを分析することで、太陽系の誕生と進化の謎や生命の原材料となった水や有機物の起源などに迫ることができると期待されています。

INFORMATION 2

「あかつき」金星周回軌道投入成功

2015年12月7日、JAXAは金星探査機「あかつき」を金星周回軌道へ投入するため、姿勢制御用エンジンの噴射を約20分にわたり行う運用を実施しました。そして、同月9日に「あかつき」の金星周回軌道投入成功が確認されました。

金星の地表面や大気を観測することを目的に、2010年5月に打ち上げられた「あかつき」は、2010年12月7日に金星周回軌道へ投入できる予定でした。しかし、燃料系統の不具合により軌道制御用の主エンジンが予定よりも短い時間しか動作せず、投入できていませんでした。

金星周回軌道投入に再挑戦する「あかつき」の想像図（CG）。

今後は各観測機器の機能確認、約3か月間の初期観測を行うとともに、軌道制御運用を行って徐々に金星を9日間程度で周回する楕円軌道へと移行し、2016年4月頃から本格的な観測に移行する予定です。

INFORMATION 3

「飛翔」がMRJの初飛行に協力

2015年11月11日(水)、愛知県営名古屋空港で行われた国産ジェット旅客機MRJの初飛行に際し、JAXAの実験用航空機「飛翔」は飛行試験を行う空域や飛行ルート上の風や雲などの気象観測を実施し、MRJの初飛行を支援しました。

JAXAの実験用航空機は、日本の飛行システム分野における実証研究を飛躍させることと、先進的航空技術の発展に寄与することを目的に開発しています。

今後も航空技術の研究開発を通じ日本の航空産業の発展に貢献していきます。

MRJ(左)飛行試験支援のため、名古屋空港待機する飛翔(右)。

INFORMATION 4

H-IIAロケット29号機（高度化仕様）打ち上げ成功

2015年11月24日15時50分00秒（日本標準時）、カナダの通信放送衛星Telstar 12 VANTAGEを搭載したH-IIAロケット29号機（高度化仕様）が種子島宇宙センターから打ち上げられました。

H-IIAロケットは計画通り飛行し、打上げ後約4時間27分にTelstar 12 VANTAGEを正常に分離した事を確認しました。

H-IIAロケット（高度化仕様）は、打ち上げ性能を向上させ、国際競争力を強化したロケットです。宇宙空間を長時間慣性飛行（ロングコースト）し第2段エンジンを再々着火できるように改良したことで、衛星を静止軌道により近い軌道に投入することができるようになりました。

この結果、衛星の燃料が節約でき、従来よりも衛星寿命を向上させることが期待されます。

JAXA's 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌 No.063

発行責任者●JAXA
（国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構）
広報部長　上垣内茂樹
編集制作●株式会社ビー・シー・シー
2016年1月1日発行

油井亀美也宇宙飛行士が帰還

国際宇宙ステーション（ISS）での142日間の長期滞在を終了した油井亀美也宇宙飛行士他、ロシアのオレッグ・コノネンコ宇宙飛行士、アメリカのチェル・リングリン宇宙飛行士が搭乗するソユーズ宇宙船は、2015年12月11日22時12分頃（日本時間）にカザフスタン共和国に着陸しました。

油井宇宙飛行士のISS長期滞在は、「きぼう」のもたらす成果を最大化させるための大変重要なミッションでした。油井宇宙飛行士は、日本が得意とする高品質タンパク質結晶生成実験をはじめ、生命科学、物質・物理科学、宇宙医学などのさまざまな実験・技術開発テーマに取り組み、小動物飼育装置などの新たな実験環境を構築しました。

さらに、日本人として初めて宇宙ステーション補給機「こうのとり」5号機のキャプチャ（把持）、放出においてロボットアームを操作するという大役を果たし、「こうのとり」の高い信頼性とともに、日本の技術力の高さを改めて世界に示しました。

カザフスタン共和国ジェズカズガン近郊の草原に着陸直後の油井宇宙飛行士。

油井宇宙飛行士ら3人を乗せて着陸したソユーズTMA-17M宇宙船の帰還モジュール。

角田宇宙センター開設50周年記念式典開催

12月12日。かくだ田園ホールにて、500名以上の方々に参加いただき、角田宇宙センター開設50周年を記念した式典が盛大に行われました。山崎直子宇宙飛行士による講演や、ジャン＝ジャック・ドーダン前ESA長官と上條謙二郎東北大名誉教授による講演を行った他、宇宙航空分野においてさらに連携し協力するために、JAXAと角田市との間で協定を締結しました。

式典会場で協定書を手に記念撮影を行う、大友角田市市長（右）と今井研究開発部門長（左）。

宇宙航空プロジェクト募集特定寄附金制度

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、宇宙活動を応援してくださる皆様のお気持ちを研究開発に生かし、社会に貢献していきます。ご寄附はインターネット等から簡単に行っていただけます。

http://www.jaxa.jp/about/donations/index_j.html

■お問合せ先　JAXA寄附金担当　050-3362-6700
（受付時間　9:30～12:15、13:00～17:45）

『JAXA's』配送サービスをご利用ください。

ご自宅や職場など、ご指定の場所へ『JAXA's』を配送します。本サービスご利用には、配送に要する実費をご負担いただくことになります。詳しくは下記ウェブサイトをご覧ください。

http://www.jaxas.jp/

JAXA Explore to Realize
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/